

Uma abordagem histórica e experimental da Eletrostática

José Nilson Silva¹

¹ Universidade Federal do Amapá, Ciências Exatas, Curso de Licenciatura Plena em Física

RESUMO: O presente artigo tem por objetivo fornecer ao professor de ensino médio subsídios históricos relacionados à Eletrostática, assim como um conjunto de aparatos experimentais que visem auxiliá-lo a despertar nos alunos o interesse pelo assunto ministrado; tal pesquisa foi feita de acordo com a sequência utilizada em diversos livros didáticos, sendo inserido na mesma o caráter histórico das principais descobertas, assim como, experimentos que podem ser utilizados em sala de aula para comprovar uma teoria.

Palavras-chave: Modelo Atômico, Carga elétrica, Campo Elétrico e Potencial Elétrico.

ABSTRACT: **An historic and experimental approach of Electrostatics.** This present paper's aim is to provide the college or high school teacher historic subsidy related to electrostatics, as a set of experimental elements that intend to help him to awake the students to the interest in the subject taught; this research was executed in accord with the sequence used in several school books, inserting in it the historical character of the main discoveries, such as, experiments that can be used in the classroom to confirm any theory.

Keywords: Atomic model, electric charge, electric field and electric potential.

1 Introdução

A Eletrostática, segundo Roditi (2005,76), é o “Ramo da Física que investiga as propriedades e o comportamento dos campos elétricos de cargas elétricas ou fontes de cargas estacionárias”, ou seja, ela se ocupa das propriedades das cargas elétricas em repouso. O ensino da Eletrostática no nível médio segue um padrão estabelecido nos livros didáticos; numa sequência em que apenas esporadicamente, ou em alguns casos nos finais dos capítulos, é que temos a proposição de experimentos e tiras

rápidas falando sobre o desenvolvimento histórico do tema, sendo que o assunto é disposto de forma geral, sem o direcionamento específico para o tema tratado no capítulo vigente. Portanto, este trabalho propõe uma forma diferente de abordar os temas relacionados à Eletrostática no ensino médio escolar, utilizando-se de argumentos históricos sobre as descobertas, e propondo experimentos simples, visando o melhor aproveitamento por parte do professor e dos alunos.

Este artigo está disposto em uma sequência de conteúdos de acordo com

livros de vários autores destinados a este público, com a ressalva de que os referidos conteúdos são abordados com o acompanhamento de diversos experimentos, os quais são construídos com materiais de fácil acesso, sendo os mesmos descritos de forma minuciosa, com a referida explicação física para cada fenômeno em questão, e com a disposição de fotos para auxiliar a compreensão de cada um deles.

O objetivo desse estudo é fornecer um plano de curso alternativo que sirva de apoio tanto para os professores que atuam no ensino médio, quanto para os estudantes, e todos aqueles interessados pelas problemáticas do ensino de Física, de forma a despertar nos alunos o interesse pela ciência, possibilitar ao educando a compreensão da forma como se concebe o processo científico, em consonância com entendimento dos fenômenos em questão e a promover a compreensão de que a Física, sendo a ciência dos fenômenos naturais, é em sua essência uma ciência experimental. Portanto a elaboração de qualquer teoria física deve estar sempre relacionada ao comportamento de um sistema físico real.

2 Noção de carga elétrica e métodos de eletrização

Sabe-se atualmente que os fenômenos elétricos estão intimamente ligados à estrutura da matéria; e muitos cientistas propuseram diversas teorias para explicá-los, dentre estas teorias se destacam as dos Modelos Atômicos. Dentre as quais, destacam-se a teoria atômica do cientista inglês John Dalton (1766-1844), o modelo atômico do cientista inglês Joseph John Thomson (1856-1940) e o modelo atômico do

físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), conhecido como “modelo planetário”, sobre o qual iremos nos concentrar.

Em 1909, Rutherford, acompanhado de Johannes Hans Wilhelm Geiger (1882-1945) e do professor inglês Ernest Marsden (1889-1970), trabalharam em uma experiência que permitia a observação da trajetória da radiação alfa (também descoberta por Rutherford). A partir das análises dos resultados dessa experiência, Rutherford idealizou um novo modelo atômico; o qual consistia numa região central, chamada de núcleo atômico, que é constituído de prótons e nêutrons, e ao seu redor existia a eletrosfera constituída por elétrons.

Partindo do princípio de que todos os corpos são formados por átomos, o qual é formado basicamente por prótons, elétrons e nêutrons; tal modelo nos diz que o átomo possui um núcleo formado por prótons e nêutrons, e pela eletrosfera, que é formada pelos elétrons que giram ao redor do núcleo. Experimentalmente, foi provado que prótons e elétrons têm comportamentos diferentes, sendo convencionalizado que o primeiro é carregado positivamente e o segundo negativamente; enquanto que os nêutrons são desprovidos de carga elétrica.

Na França, o cientista Charles François de Cisternay Du Fay (1698-1739) realizou experiências nas quais descobriu a existência de dois tipos de eletricidade: a eletricidade vítrea (+) e a eletricidade resinosa (-), percebendo que a repulsão ou atração entre duas esferas dependia de como elas eram eletrizadas. Benjamin Franklin (1706-1790) convencionou os sinais positivos

(+) e negativos (-) para as cargas elétricas, a partir de um experimento de eletrização por atrito. Ele atritou um bastão de vidro com um pedaço de seda, e convencionou que a seda ficou com carga negativa e o bastão com carga elétrica positiva. Desta forma ficou estabelecido que todo corpo repellido pelo bastão estava carregado positivamente, e se fosse atraído por ele estava carregado negativamente (ver experiência 1) .

2.1 Princípios da eletrostática

2.1.1 Princípio da atração e repulsão:

Cargas com mesmo sinal elétrico se repelem, e com sinais contrários se atraem.

Em 1909, o físico norte-americano Robert Andrews Milikan (1868-1953), realizou experiências com gotas de óleo eletrizadas por atrito e concluiu que a carga elétrica é quantizada, ou seja, a quantidade de carga é sempre igual ao múltiplo de uma quantidade da carga elementar, representada por e . Logo, a carga elétrica é dada pela equação:

$$Q = n.e, \quad (01)$$

sendo $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, denominada de carga elétrica fundamental e n é um número inteiro.

2.1.2 Princípio da conservação das cargas elétricas:

Num sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das quantidades de cargas positivas e negativas é constante.

O cientista e estadista norte-americano Benjamin Franklin (1706-1790) relatou diversas experiências que havia realizado sobre fenômenos elétricos ao historiador da ciência, o

inglês Peter Collinson (1693-1768), em que ele fez a seguinte descrição: “... um ou mais corpos devem ganhar fogo elétrico de corpos que perdem-no (esta afirmação é hoje conhecida como a lei de conservação da carga elétrica)” (BASSALO, 1996, 301).

2.2 Eletrização por atrito

Em 1759, o físico inglês Robert Symmer (1707-1763) publicou um relato de experiências que confirmavam a idéia de dois fluídos elétricos de Du Fay, de 1733:

“... Symmer observou que pares de meias, de mulher, um branco e um preto, depois de serem vestidas em uma mesma perna e posteriormente retiradas [provocando o atrito entre a meia e a perna], eram fortemente atraídas quando separadas a uma certa distancia. Concluiu então, que todo corpo neutro tinha uma quantidade igual de cada um de dois fluidos elétricos de sinais opostos. Portanto, um corpo eletrizado teria excesso de um deles sobre o outro. Contudo, essa concepção de Symmer diferia da de Du Fay, já que para este, as duas eletrificadas (“vítrea” e “resinosa”) apresentavam o mesmo sinal.” (BASSALO, 1996: 304).

Experiência 1: Eletrização por atrito.

Material: 30 cm de linha de costura, 01 pedaço de seda, 03 canudos de refresco (sanfonados), 02 bases de isopor para afixar os canudos e 01 tubo de cola.

Objetivo: Observar a interação entre dois corpos eletrizados por atrito.

Montagem do experimento: Como primeira etapa cole um canudo numa base de isopor, com a parte sanfonada para cima. Seguindo para a etapa 2 utilize a tesoura para cortar um canudo

em quatro partes iguais. Na etapa 3 corte 10 cm de linha, em seguida amarre uma ponta na extremidade superior do canudo preso à base, e outra ponta num dos pedaços de canudo. Na quarta etapa o pêndulo que já está montado é denominado Pêndulo elétrico. Repita as etapas 1, 2 e 3, e faça outro pêndulo. Passando para a etapa 5 utilize o pedaço de seda para atritar os dois pedaços de canudo que estão suspensos nos pêndulos. Finalizando com a etapa 6 aproxime os dois pêndulos, de forma que as partes suspensas fiquem próximas. Verifique o que ocorre entre os pedaços de canudos.



Figura 1: Ao lado esquerdo temos 02 canudos antes da eletrização. Nenhuma perturbação é verificada no sistema. Ao lado direito temos 02 canudos depois da eletrização por atrito. Verifique a repulsão entre os mesmos.

Análise da experiência

O atrito entre os corpos favorece ao processo de eletrização, ou seja, quando dois corpos são atritados entre si um dos dois perde elétrons para o outro; tornando-se dessa forma eletrizado positivamente, enquanto que aquele que recebeu elétrons fica carregado negativamente (mais elétrons do que prótons). Este processo é chamado de **Eletrização por Atrito**. Logo, os dois pedaços de canudo que foram atritados ficaram carregados com carga elétrica de mesmo sinal, já que os mesmos

foram submetidos ao atrito com um mesmo material, seda; e, desta forma ao aproximá-los verificamos a repulsão entre cargas de mesmo sinal, neste caso, as cargas distribuídas nas superfícies dos pedaços de canudo.

2.3 Eletrização por indução e por contato

Bassalo (1996) relata as observações efetuadas pelo médico inglês William Gilbert (1544-1603) em 1600:

“... Observou, também, que o cristal de rochas e uma grande variedade de pedras preciosas apresentavam o mesmo comportamento do âmbar, isto é, atraíam corpos leves quando atritados [processo de indução elétrica]. Como em grego *elektron* significa âmbar, Gilbert denominou de elétricos, os corpos que se comportam como o âmbar; às substâncias que não conseguia “eletrizar” (como, por exemplo, os metais), denominou-as de não-elétricas. Ao estudar a eletrização dos corpos por fricção, Gilbert achava que tal eletrização decorria da remoção de um fluído, ou humour (substância etérea e imaterial) desses mesmos corpos, deixando um *effluvium* elétrico, ou atmosfera, em seus redores...” (BASSALO, 1996:120).

Também Bassalo (1996) cita que, em 1762, o físico sueco Johan Carl Wilcke (1732-1796) publicou um trabalho descrevendo suas experiências sobre a eletrização por indução.

Experiência 2: Eletrização por Indução elétrica.

Material: 01 Pêndulo eletrostático (ver experiência 1), 01 canudo sanfonado de refresco, 01 par de luvas de borracha e um pedaço de seda.

Objetivo: Verificar como ocorre o processo de eletrização por indução.

Montagem do experimento: Na etapa 1, sem utilizar as luvas, toque com suas mãos no canudo suspenso pelo fio. Seguindo para a etapa 2 coloque as luvas de borracha, depois pegue o pedaço de seda e o atrite com o canudo sanfonado de refresco. Na terceira etapa aproxime o canudo que sofreu o atrito, do pedaço de canudo que está suspenso pela haste. Verifique o que ocorre entre os canudos.



Figura 2: O canudo eletrizado ao ser aproximado do que está eletricamente neutro (canudo suspenso) provoca o fenômeno da indução elétrica no mesmo.

Continuando a montagem, na etapa 4 repita a etapa anterior, porém, quando o canudo suspenso for atraído pelo canudo carregado eletricamente, efetue um breve contato do corpo induzido com a terra, o qual pode ser feito através de um simples toque de mão (este contato pode ser efetuado por um ajudante, para facilitar na execução do experimento); depois afaste o canudo que foi atritado. Finalizando na etapa 5, aproxime um canudo eletricamente neutro do canudo suspenso. Verifique o que ocorre entre os dois canudos.

Análise da experiência

Percebemos que ao aproximarmos o pedaço de canudo que foi atritado com a seda, do canudo suspenso, ocorre uma atração entre eles. Já sabemos que o pedaço do canudo que sofreu atrito está eletrizado. Ao tocarmos, sem as luvas, no canudo suspenso no pêndulo, garantimos que o mesmo esteja eletricamente neutro, pois se tal canudo estivesse carregado negativamente, seu excesso de cargas elétricas negativas seria distribuído pelas dimensões de nosso corpo; e se estivesse carregado positivamente, ele atrairia cargas negativas do nosso corpo de modo a ficar eletricamente neutro. Então, devemos entender o que ocorre no canudo suspenso para que ocorra a atração. Verifique o esquema mostrado na figura abaixo:

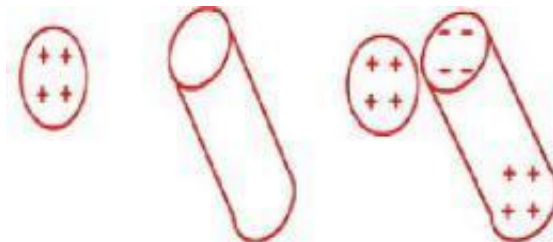


Figura 3: Ao aproximar o corpo carregado eletricamente do descarregado, verificamos que ocorre uma redistribuição das cargas elétricas dentro do corpo eletricamente neutro.

As cargas positivas, como ilustrado na figura 5, do corpo eletrizado atraem os elétrons do outro corpo, provocando uma redistribuição das cargas no interior do mesmo. Deste modo, comparando a experiência com tal esquema de interação eletrostática conclui-se que, por indução, a parte do canudo suspenso que está nas proximidades do canudo eletrizado, fica com carga contrária a este. Pelo Princípio da atração e repulsão, sabemos que cargas de sinais contrários se atraem, ocasionando, desta forma, a

deflexão do canudo suspenso, percebida na terceira etapa da experiência.

Na quarta etapa, temos de início, uma divisão das cargas elétricas no interior do canudo. Ao ser efetuado o contato do corpo induzido com a terra (através do toque de mão), podem ocorrer dois efeitos, se o toque for efetuado na região onde estejam as cargas elétricas negativas, elas irão ser distribuídas pela superfície do nosso corpo, e depois descer para a terra, tornando o canudo carregado positivamente ou se o toque for efetuado numa região onde as cargas elétricas positivas estejam concentradas, elas atrairão cargas elétricas negativas do nosso corpo, tornando o canudo carregado negativamente. Logo, percebe-se que de uma forma ou de outra o canudo suspenso ficará eletrizado; o que é constatado na quinta etapa, quando aproximamos dele, um canudo eletricamente neutro, e observamos que ocorre uma pequena interação entre os mesmos. Tal processo é denominado de eletrização por indução.

E se, na terceira etapa, ao invés de apenas aproximar o canudo maior do canudo que está suspenso, for efetuado o contato entre estes?

Neste caso, após tal contato, aproximamos um canudo eletricamente neutro do canudo que está suspenso. Verificamos neste caso que a perturbação será menor, relacionada àquela ocorrida antes. Isto acontece devido ao fato de que ao realizar o contato, ocorrerá uma redistribuição da carga elétrica nestes dois corpos, acarretando, assim, que o corpo que foi carregado eletricamente por contato, apresenta uma carga elétrica menor do

que aquela do canudo que foi eletrizado por atrito. Sabendo-se que ocorre essa transferência de cargas, compreendemos o motivo da diferença nas perturbações, já que agora teremos uma carga elétrica menor no canudo suspenso. Este tipo de eletrização, referindo-se ao pedaço que ficou eletrizado após o contato, é conhecido como Eletrização por Contato.

Se os corpos que forem colocados em contato neste último tipo de eletrização, possuírem as mesmas formas e dimensões, quando cessarmos o referido contato eles apresentar-se-ão com cargas iguais, e a soma delas será numericamente igual à carga inicial.

2.4 Condutores e isolantes

Existem materiais que apresentam a propriedade de serem bons condutores de eletricidade, os quais são denominados condutores; enquanto que existem outros que impedem tal condução, que são denominados isolantes.

Foi o físico anglo-francês John Theophilus Desaguliers (1683-1744) quem utilizou pela primeira vez os termos condutores e insuladores (isolantes), em 1739, ao se referir aos corpos condutores de “fluídos” elétricos e aos que isolavam o mesmo “fluído” na região em que eram atritados, respectivamente (BASSALO, 1996).

Segundo Rocha (2002), os fenômenos de condução e indução elétrica entraram no mundo da ciência em 1729, pelo inglês Stephen Gray (1696-1736), o qual fez o seguinte comunicado aos cientistas da época:

“... a virtude elétrica de um tubo atritado pode ser transmitida a outros corpos com os quais ele está em contato e,

então dar-lhes a mesma propriedade de atração que possui o tubo atritado.” (ROCHA, 2002: 193)

Ele descreveu sua descoberta num artigo que publicou na revista *Philosophical Transactions*, onde ele fez a distinção entre os corpos que conduzem e aqueles que não apresentam tal propriedade. Tal descoberta foi alicerçada por meio do caráter experimental do trabalho desse cientista. O físico Bassalo (1996) descreve uma dessas experiências que foi crucial para a distinção entre materiais com propriedades condutoras de eletricidade, e aqueles com propriedades isolantes. Bassalo descreve tal experiência conforme abaixo:

“... um tubo de vidro tampado com uma rolha de cortiça em uma de suas extremidades era atritado com um pedaço de lã e, em consequência disso, a rolha passou a atrair corpos leves. Em outra experiência, Gray observou que o comportamento da rolha de cortiça seria o mesmo se ela estivesse ligada ao tubo de vidro por intermédio de um fio longo de cânhamo. De outra feita, em vez de pendurar a corda verticalmente, ele a manteve na posição horizontal, pendurada no teto por meio de várias fitas de seda. Contudo, um certo dia partiu-se uma dessas fitas e ele a substituiu por um fio de cobre. Em virtude disso, Gray observou que a rolha de cortiça não mais se eletrizava.”(BASSALO, 1996: 298)

Além disso, ele descreveu o que chamou de eletrização por influência, ou seja, a propriedade que certos corpos possuem de sofrerem atração elétrica mesmo sem serem tocados; o que conhecemos como fenômeno de Indução Elétrica (descrito na experiência 2).

Foram os físicos norte-americanos Richard Chace Tolman (1881-1948) e Thomas Dale Stewart que apresentaram à sociedade científica de Físicos, por meio de uma publicação na *Physical Review* 8, o resultado de uma experiência em que comprovaram que a corrente elétrica nos metais era composta de elétrons livres (BASSALO, 2000).

Experiência 3: Condutores e isolantes.

Material: 01 Bastão de vidro, 01 Bastão metálico, 02 m de fio elétrico, 01 rolo de fita isolante, 01 alicate universal, 01 chave de fenda, 01 bateria de 9 V, 02 pares de garra jacaré, 01 chave de duas posições e 01 lâmpada pequena.

Objetivo: Comparar o comportamento dos materiais isolantes e condutores de eletricidade.

Montagem do experimento: Como etapa 1, corte o fio elétrico em 4 partes de 20 cm cada, e descasque todas as pontas. Na segunda etapa pegue um dos fios de 20 cm. Com a utilização do alicate universal, e caso necessário da chave de fenda, prenda uma garra jacaré em cada extremidade. Utilize a fita isolante para isolar cada contato elétrico. Dando sequência na etapa 3 verifique que a lâmpada possui dois contatos. Pegue 2 fios elétricos e prenda uma extremidade de cada um deles em cada um dos contatos da lâmpada. Isole os contatos com fita isolante. Em seguida prenda a ponta livre de um dos fios elétricos numa garra jacaré. Isole com fita isolante. Na etapa 4 pegue o fio elétrico que sobrou e prenda uma das pontas na garra jacaré restante, e a outra extremidade num dos contatos da chave de duas posições. Na etapa 5

prenda a garra jacaré do fio que está ligado à lâmpada no pólo negativo da bateria (escolha por convenção). Pegue o fio com garra jacaré nas duas pontas. Prenda uma delas no pólo positivo da bateria, e a outra ponta numa das extremidades do bastão metálico. Seguindo para a etapa 6 prenda a garra jacaré do fio que está ligado à chave de duas posições na extremidade livre do bastão metálico. Na sétima etapa coloque a chave de duas posições na posição desligada. Prenda a ponta do fio elétrico livre no contato que fechará o circuito quando a chave for colocada em posição ligada. Isole o contato com fita isolante. Passando para a etapa 8 passe a chave para a posição ligada. Verifique o que ocorre com a lâmpada. Concluindo na etapa 9 passe a chave para a posição desligada. Substitua o bastão metálico pelo bastão de vidro. Passe a chave para a posição ligada. Verifique o que ocorre com a lâmpada.



Figura 4: Ao lado esquerdo o bastão metálico permite a condução elétrica, e a lâmpada acende. Ao lado direito o bastão de vidro atua como isolante elétrico, impedindo desta forma que a lâmpada acenda.

Análise da experiência

Em alguns elementos químicos, os elétrons das camadas eletrônicas mais externas se encontram fracamente ligados ao núcleo atômico, de modo que quando são submetidos a uma força

eletrostática externa, mesmo de pequena intensidade, os mesmos podem desprender-se da estrutura atômica, tornando-se elétrons livres. São estes elétrons os responsáveis pela condução de eletricidade nos metais. Substâncias que possuem tal propriedade são chamadas de condutoras, como a barra metálica descrita na experiência.

Nas sete primeiras etapas temos a descrição da montagem do experimento, que finalizamos com um circuito (dispositivo que fornece caminhos ao longo dos quais os portadores de cargas podem se mover) de ligação de uma lâmpada, acionado através de uma chave de duas posições, e uma bateria (dispositivo com energia química interna) servindo para gerarmos o fluxo dos elétrons livres em um sentido, fazendo com que exista uma corrente elétrica (fluxo de cargas elétricas numa determinada superfície) através do fio.

Na oitava etapa, ao passarmos a chave para a posição fechada, verificamos que a lâmpada acende. Isto se deve ao fato de que a diferença de potencial aplicada na barra metálica provoca o desprendimento dos elétrons da última camada da eletrosfera dos átomos do metal em questão, estes elétrons se espalham pela sua superfície, tornando-a eletrizada; permitindo a passagem de corrente elétrica pelo fio, fechando o circuito.

Enquanto que na 9ª etapa, ao substituírmos a barra metálica por uma de vidro, é observado que a lâmpada não acende. Isto se deve ao fato de que existem materiais nos quais seus átomos possuem os elétrons da última camada fortemente ligados ao núcleo (o vidro é um exemplo), logo, possuem

dificuldades em desprendê-los. Logo, os seus elétrons não se distribuem por toda a estrutura da barra, devido à falta de elétrons livres; fato este que impede a passagem de corrente elétrica. Materiais deste tipo são denominados isolantes.

2.5 Eletroscópios

Retomando, a experiência 1, o pêndulo proposto é um aparelho que faz parte de um conjunto de aparelhos chamados de eletroscópios, os quais são destinados a averiguar se um corpo está eletrizado. Se ao aproximarmos um corpo do canudo suspenso, e o mesmo for atraído ou repelido, o corpo está eletrizado. Se não houver perturbação, o corpo está eletricamente neutro. O canudo pode ser substituído por uma pequena esfera de material leve, como o isopor, sendo coberta por uma fina camada de metal, por exemplo, papel alumínio.

Em 1706, o cientista inglês Francis K. Hauksbee (1666-1713) construiu o primeiro eletroscópio de folhas com dois pedaços de palha suspensos lado a lado da extremidade inferior de uma lâmina, verificando se um corpo estava eletrizado ou não (BASSALO, 1996).

Experiência 4: Eletroscópio de folhas.

Material: 01 Recipiente de vidro; 01 estilete, 01 alicate universal, 01 pedaço de haste metálica (raio de bicicleta, por exemplo), 01 folha de papel alumínio, 01 canudo de refresco, 01 pedaço de isopor, 01 pequena esfera condutora e 01 pedaço de seda.

Objetivo: Realizar indução eletrostática e ver o funcionamento do eletroscópio de folhas.

Montagem do experimento: Na etapa 1 deve-se cortar o isopor, com o estilete, de modo que o mesmo sirva de tampa para o recipiente de vidro. Passando para a etapa 2, a haste metálica deve ser cortada e dobrada em L, com o alicate; sendo que a extremidade do lado maior deve ser dobrada de forma que possa encaixar a esfera condutora. Acople a haste ao centro da tampa de isopor, introduzindo a mesma pelo seu lado maior. Na terceira etapa corte o papel alumínio em 02 pedaços pequenos, com as mesmas dimensões, e efetue um furo em cada um de modo que encaixe no lado menor da haste metálica. Encoste os pedaços de papel entre si. Etapa 4, encaixe a esfera metálica na extremidade livre do bastão metálico. Na quinta etapa coloque o conjunto já montado sobre o recipiente de vidro, de modo que as folhas de alumínio fiquem no interior do recipiente, e a esfera condutora no seu exterior. Finalizando na sexta etapa, eletrize o canudo por atrito, utilizando o pedaço de seda, e posteriormente aproxime o canudo da esfera. Verifique o que ocorre com as folhas de alumínio.



Figura 5: Do lado esquerdo temos o eletroscópio de folhas antes da indução elétrica (verifique que as folhas de papel alumínio estão juntas), e do lado direito mostramos a aproximação entre o canudo eletrizado e o eletroscópio, o qual induz eletricamente o

conjunto metálico, provocando a repulsão entre as folhas de papel alumínio.

Análise da experiência

A explicação para tal fenômeno é o mesmo da eletrização por indução, já que é exatamente isto que ocorre. Logo, se o corpo que aproximamos da bola condutora estiver eletricamente neutro, as folhas do eletroscópio não se abrirão, porém se o mesmo estiver eletrizado, ocorrerá indução elétrica, já demonstrada na experiência 2, e as cargas que tiverem mesmo sinal que as do indutor (canudo) ficarão concentradas nas folhas metálicas, provocando sua abertura, devido à repulsão entre as cargas de mesmo sinal.

2.6 Lei de Coulomb

Joseph Priestley (1733-1804) publicou em 1767 o livro intitulado “A história e a situação atual da Eletricidade”. Neste trabalho ele supôs que a força elétrica deveria diminuir de intensidade com o inverso do quadrado da distância; “essa suposição decorreu do fato dele haver observado que pedacinhos de cortiça colocados no interior de um recipiente metálico não sofriam nenhuma influência elétrica” (BASSALO, 1996).

Em 1770, o físico inglês Henri Cavendish (1731-1810) observou, experimentalmente, que a força elétrica variava com o inverso do quadrado da distância. Ele avaliava a intensidade da força elétrica através de choques elétricos em seu próprio corpo. Mas foi em 1785 que Charles Augustin Coulomb (1736-1806) provou, com relativa precisão, a hipótese de Priestley, ao utilizar uma balança de torção (BASSALO, 1996).

Coulomb também obteve outros resultados importantes em decorrência de suas experiências, tais como a observação de que a carga elétrica se situa na superfície externa do condutor, e também observou que o ar não era um isolante ideal.

A Lei de Coulomb pode ser enunciada do seguinte modo:

“A intensidade da força de ação mútua entre duas cargas elétricas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos valores absolutos das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa”. (RAMALHO et al., 1999: 17).

A representação quantitativa da Lei de Coulomb é a seguinte:

$$\vec{F} = K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2} \quad (02)$$

Onde: F representa a força elétrica, K a constante eletrostática, $|q_1|$ e $|q_2|$ são os valores absolutos das cargas $|q_1|$ e $|q_2|$, e d é a distância entre as cargas.

Experiência 5: Ação da Força Elétrica.

Material: 01 pente de cabelo, 01 folha de papel e 01 tesoura.

Objetivo: Verificar a ação da força elétrica sobre os corpos.

Montagem do experimento: Na etapa 1 corte a folha de papel em tiras pequenas. Enquanto que na etapa 2 passe o pente diversas vezes pelo cabelo, provocando seu atrito. Etapa 3, aproxime o pente atritado dos pedaços de papel e verifique o que ocorre com os mesmos.



Figura 6: O pente eletrizado atrai os pedaços de papel, que são eletricamente induzidos, por intermédio de uma Força elétrica.

Análise da experiência

Ao passarmos o pente nos cabelos, realizamos uma eletrização por atrito no pente. Posteriormente, ao aproximarmos o pente dos pequenos pedaços de papel, observamos que os mesmos são atraídos pelo pente. Tal processo é devido à indução elétrica nos pedaços de papel. Esta atração é devido à força eletrostática que atua entre as cargas elétricas.

3 Campo Elétrico

3.1 O campo elétrico e sua representação física

Verificamos anteriormente que, se nas proximidades de certa carga elétrica Q colocarmos outra carga q , ocorrerá uma força elétrica entre as duas cargas. Porém, se estas cargas elétricas não se tocam como elas conseguem exercer forças entre si?

A resposta está no conceito de Campo Elétrico, que foi introduzido pelo físico e químico britânico Michael Faraday (1791-1867), que, através de seus experimentos, verificou que o espaço ao redor de um corpo carregado é preenchido com linhas de força.

Segundo Ramalho et al.(1999) temos o seguinte conceito de linhas de força: “linhas de força são linhas tangentes ao vetor campo elétrico em cada um de seus pontos. As linhas de força são orientadas no sentido do vetor campo”.(RAMALHO et al., 1999: 53).

Em 1821, Faraday publicou um artigo no *Quarterly Journal of Science*, onde registrou suas primeiras idéias sobre linhas de força (BASSALO, 1996). Através de seus estudos ele concluiu que “cargas elétricas isoladas positivas e negativas seriam geradas pela dissociação e seriam pontos para onde as linhas de campo deveriam convergir ou de onde deveriam divergir” (CRUZ, 2005).

Segundo Halliday et al.(2003) a idéia de campo elétrico foi introduzida por Michael Faraday (1791-1867), no século XIX. Um grande questionamento da época estava em torno do que fazia uma carga q_1 interagir com uma carga q_2 , mesmo afastadas entre si. Faraday sugeriu que o espaço que circunda um corpo carregado fosse preenchido com “algo” que pudesse puxar ou empurrar; o que foi denominado de linhas de força.

3.2 Comportamento de um condutor eletrizado

Ao se atritar um corpo condutor, este fica carregado eletricamente, de modo que as cargas se distribuem pela superfície do condutor, atingindo no final uma situação denominada de **equilíbrio eletrostático**. A distribuição das cargas na superfície se dá de tal forma que no interior do condutor o campo elétrico é **nulo**.

Em 1779, o físico e matemático francês Pierre Simon (1749-1827) fez uma relação entre condutor esférico e a forma como a força elétrica atua ao afirmar, em uma de suas publicações, que “se não há cargas no interior de um condutor esférico, a lei da força elétrica deve ser a do inverso do quadrado da distancia” (BASSALO, 1996).

3.2.1 Campo elétrico no interior de um condutor eletrizado

Experiência 6: O valor do Campo elétrico no interior de um condutor eletrizado.

Material: 01 pente de cabelo, 01 folha de papel de seda, 01 tesoura, 01 lata de metal, 01 suporte de isopor e 01 fita adesiva.

Objetivo: Verificar a ação do campo elétrico no interior de condutor eletrizado.

Montagem do experimento: Como etapa 1 coloque a lata metálica sobre o suporte de isopor. Já na segunda etapa corte o papel em tiras finas, e prenda com fita adesiva algumas destas tiras na parte externa da lata e outras na parte interna. Na etapa 3 eletrize o pente passando-o em seus cabelos, e em seguida encoste-o no recipiente metálico. Repita esta operação algumas vezes. Observe o que acontece com as tiras de papel. Concluindo na etapa 4 observe que as tiras da parte externa são repelidas, enquanto que as da parte interna não sofrem influência.



Figura 7: A eletrização por contato do metal faz com que os pedaços de papel externos sejam repelidos, enquanto que os internos não sofrem nenhuma influência.

Análise da experiência

Ao atritar o pente nos cabelos, ele fica eletrizado. Posteriormente, ao efetuar o contato do mesmo com a superfície do condutor metálico (lata), estaremos eletrizando o condutor por contato. Ao repetirmos tal procedimento algumas vezes o recipiente adquire uma carga considerável. Como a carga na superfície externa de um condutor se distribui na própria superfície externa, as tiras de papel de seda também se eletrizam com a mesma carga do condutor, vindo depois a repelirem-se, o que é observado com o afastamento das tiras em relação à superfície externa da lata; enquanto que no interior da lata não ocorre tal fenômeno, devido ao fato de o campo elétrico no interior de um condutor eletrostático ser nulo.

3.2.2 A gaiola de Faraday

É necessário verificar que a propriedade de o campo elétrico ser nulo no interior do condutor é válida tanto para condutores maciços, quanto para condutores com cavidade interna. Esta é a chamada **Blindagem Eletrostática**, a qual protege vários

equipamentos eletrônicos através de um envoltório metálico; protegendo-os desta forma de possíveis influências de fenômenos elétricos externos.

De acordo com Máximo e Alvarenga (1997), Michael Faraday já era conhecedor do fenômeno denominado Blindagem Eletrostática. Vindo a realizar uma famosa experiência, para poder provar sua existência. Faraday entrou numa gaiola metálica, a qual estava montada sobre suportes isolantes, com um eletroscópio em mãos, a qual foi em seguida eletrizada intensamente por seus assistentes. O cientista não sofreu dano algum, e também não foi verificada nenhuma deflexão nas folhas do eletroscópio, demonstrando desta forma que a gaiola metálica, apesar de não possuir uma superfície contínua, apresenta a propriedade de proteger seu interior de quaisquer influências de fenômenos elétricos externos; tal experimento ficou conhecido como Gaiola de Faraday, o qual demonstra que um condutor carregado eletriza-se apenas em sua superfície externa.

Experiência 7: Gaiola de Faraday

Material: 01 folha de papel, 01 pente, 01 peneira de plástico, 01 peneira de metal, 01 tesoura e uma caixa de papelão (8,00 cm x 6,50 cm).

Objetivo: Compreender em que tipos de materiais ocorre a blindagem eletrostática.

Montagem do experimento: Na primeira etapa, utilizando a tesoura, recorte pequenos pedaços de papel, e em seguida os coloque sobre a caixa de papelão. Na etapa 2 atrite o pente em seu cabelo, e depois o aproxime dos pedaços de papel. Verifique o que ocorre entre o pente e os pedaços de

papel. Etapa 3, coloque a peneira de plástico (limpa e seca) entre os pedaços de papel e o pente; e verifique o que ocorre entre o pente e os pedaços de papel. Conclua na quarta etapa substituindo a peneira de plástico pela peneira de metal, e verifique o que ocorre entre o pente e os pedaços de papel.



Figura 8: Ao lado esquerdo os pedaços de papel são cobertos por uma peneira de plástico, a qual não impede que os mesmos sejam atraídos pelo pente eletrizado; enquanto que ao lado direito os pedaços de papel ao serem cobertos por uma peneira de metal não sofrem nenhuma influência elétrica do pente eletrizado, devido a uma blindagem eletrostática feita de peneira metálica.

Análise da experiência

Ao atritar o pente nos cabelos ele fica eletrizado por atrito, e ao aproximá-lo dos pedaços de papel, estes serão induzidos eletricamente; logo, serão atraídos pelo pente. Ao cobrir os pedaços de papel pela peneira de plástico, o processo de atração destes papéis pelo pente não sofre nenhuma influência, já que a referida peneira por ser de plástico, que é um isolante, não interferirá na atração. Porém, ao trocar a peneira de plástico por uma de metal não verificamos mais nenhuma interação eletrostática entre o pente e os pedaços de papel, já que a mesma constitui a chamada Blindagem Eletrostática, devido o seu material ser metálico.

4 Conclusão

Este trabalho constou de uma abordagem histórica e experimental da Eletrostática. E de acordo com o que foi observado, percebemos a importância de se compreender como se deram as descobertas científicas referentes às cargas em repouso, pois através de tal conhecimento histórico, pode-se analisar os fenômenos em questão com um olhar mais crítico, já que além de estar sendo explicitada a teoria em questão, o mesmo é feito de forma a conscientizar de como se dá o processo científico, através de muito esforço, por vezes enfrentando limitações de recursos e materiais, outras tendo de repetir várias vezes a mesma experiência, alterando apenas alguns parâmetros, e outras vezes partindo de um trabalho já existente de outro cientista, aprofundando o conhecimento disseminado por este, ou alterando as conclusões a que o mesmo já tinha chegado; ou seja, dessa forma é desfeita a falsa idéia de que teorias científicas de alta relevância para o progresso da sociedade surgiram de uma idéia repentina de um gênio, sendo dessa forma já totalmente fundamentada.

O trabalho com experimentos nos mostra as diversas possibilidades de se comprovar o que se estuda na teoria a partir de aparatos experimentais construídos com materiais acessíveis, ocasionando indagações a respeito do fenômeno físico a que se refere, provocando dessa forma a curiosidade, a interação com o processo, e, conseqüentemente, uma compreensão mais concisa dos fenômenos eletrostáticos. O professor e os alunos podem utilizar este material como

referência para construção de experiências novas, abrindo desta forma espaço para explorar a criatividade ao trabalhar o caráter experimental da Física, tendo em mãos sempre a explicação científica vigente a respeito do fenômeno tratado.

Referências

BASSALO, J. M. F. **Crônicas da Física**. Tomo 4. Belém: EDUFPA, 1994.

BASSALO, J. M. F. **Eletrodinâmica clássica**. São Paulo: Livraria da Física, 2007.

BASSALO, J. M. F. **Nascimentos da Física (1901-1950)**. Belém: EDUFPA, 2000.

BASSALO, J. M. F. **Nascimentos da Física (3500 a.C.-1900 a.D.)**. Belém: EDUFPA, 1996.

CRUZ, F. F. S. **Faraday & Maxwell - Luz sobre os campos**. São Paulo: Odysseus, 2005.

DIAS, V.; MARTINS, R. **Michael Faraday: O caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética**. Ciência & educação, 10 (3): p.517-530, 2004.

FARADAY, M. **A história química de uma vela. As forças da matéria**. Intr. James Clerk Maxwell. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2003.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. Coleção Leitura. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GUERRA, A. et al. A interdisciplinaridade enquanto projeto para o ensino secundário a partir de uma perspectiva histórico-filosófica.

Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 15, n. 1, p. 32-46, 1998.

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 2, p. 224-248, 2004.
HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física 3: eletromagnetismo**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MAGALHÃES, M.; SANTOS, W.; DIAS, P. Uma proposta para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético: uma aplicação da história da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 4, Dez., 2002.

MARTINS, A. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, abr. 2007.

MARTINS, R. A. Como não escrever sobre história da física – Um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, Mar, 2001.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de física 3**. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997.

MOREIRA, M.; MASSONI, N.; OSTERMANN, F. “História e epistemologia da física” na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2007.

NERY, J. R.; BORGES, M. L. **Orientações técnicas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Macapá: UNIFAP, 2005.

PARANÁ, D. **Física volume 3: eletricidade**. 4. ed. São Paulo: Ática, 1995.

PIRES, A. **Evolução das idéias da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

PENHA, M. C. A (Im) Pertinência da história ao aprendizado da física (um estudo de caso). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, Junho, 2001.

RAMALHO, F.; FERRARO, N.; SOARES, P. **Os fundamentos da física 3**. 7. ed. São Paulo: Moderna, 1999.

ROCHA, J. et al. (org.). **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

RODITI, I. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

SILVEIRA, F.; PEDUZZI, L. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 1: p.26-52, abr. 2006.

SARDELLA, A.; FALCONE, M. **Química série Brasil**. São Paulo: Ática, 2004.

TRALDI, M. C.; DIAS, R. **Monografia passo a passo**. 5. ed. Campinas: Alínea, 2006.

VALADARES, E. C. **Física mais que divertida: inventos eletrizantes baseados em materiais reciclados e de baixo custo**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

Artigo recebido em 28 de novembro de 2011.

Aprovado em 28 de fevereiro de 2011.